

Éditeur scientifique

Éric Roose

Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens

Contribution à l'agroécologie



Intérêt des fumiers pour restaurer la fertilité des sols en zone semi-aride d'Afrique

Francis GANRY

Laurent THURIÈS

Introduction

Les recherches agronomiques menées en Afrique de l'Ouest à partir des années 1950 sur la fertilisation des sols ont privilégié une approche économique visant la production maximale par l'emploi massif des engrais minéraux. Dans les années 1970, avec la crise énergétique, l'acidification des sols par les engrais, la sécheresse et l'abandon des services de l'État sous la pression de la banque mondiale, les services agronomiques ont cherché à économiser l'achat des engrais en valorisant les matières organiques disponibles localement : les résidus de culture et le fumier ou le compost. À partir des années 1990, la prise en compte de la préservation de l'environnement va modifier l'approche des agrosystèmes en développant la conservation des sols, en recherchant l'optimisation de la production, la qualité des récoltes et la protection de l'environnement.

Aujourd'hui, la recherche agronomique a clairement démontré qu'en raison des conditions pédoclimatiques qui prévalent dans ces zones, la fertilisation des sols cultivés doit combiner engrais minéraux et matières organiques riches en précurseurs des substances humiques (fumier, compost ou matières végétales riches en fibres) (PIERI, 1992). Dans les zones considérées, le fumier est la ressource la plus commune à la portée des agriculteurs. L'utilisation du fumier est en voie de développement dans les zones de culture du coton. Au Burkina, la technique

des parcs d'hivernage produisant un fumier amélioré s'est bien développée (BERGER *et al.*, 1987). La réussite de la filière cotonnière dans le Mali Sud repose en grande partie sur une stratégie de développement du fumier en milieu paysan (SANOGO, 1997). Au Sénégal, dans la zone cotonnière, on note le succès de la stabulation en Haute-Casamance (LY *et al.*, 1997). Malheureusement, malgré ces indicateurs de tendances favorables, il subsiste nombre de facteurs limitants ; en plus des problèmes de transport et de disponibilité en biomasse, la quasi-totalité des fumiers épandus ont des qualités fertilisantes et sanitaires et des qualités d'amendement médiocres. Dans ce chapitre, nous ferons d'abord un rappel des principales fonctions de la matière organique en tant que fumure et amendement ; ensuite, nous aborderons les grands types de fumier rencontrés, la façon d'évaluer leur qualité agronomique et de l'augmenter. Nous aborderons enfin les questions de la faisabilité du fumier et de l'optimisation de son mode d'application dans le système de culture intensif.

Les effets attendus d'une gestion organique des sols

Conservation de la matière organique des sols

La composition biochimique de la MO apportée au sol, des matières végétales restant sur le sol (litière agroforestière), ou des plantes de couverture, est un facteur essentiel du stockage du carbone dans le sol (THURIÈS *et al.*, 2002), ainsi que la teneur en argile qui conditionne une valeur seuil du C % du sol (FELLER, 1995). Le rapport C/N de cette MO est un indicateur nécessaire, mais pas suffisant pour caractériser cette MO. Les matériaux à C/N élevé peuvent enrichir sensiblement le sol en C pour autant que le rapport taux de fibres/contenu cellulaire (NDF/CC)² soit suffisamment élevé. À titre d'exemple, la coque d'arachide compostée et la paille de sorgho ont le même C/N, mais un NDF/CC respectivement de 28 et de 0,8. La paille de sorgho moins riche en fibres va induire, une fois incorporée au sol, une surminéralisation de la MOS et de sa fraction organo-minérale. Cela conduit à un bilan de C total largement négatif (PIERI, 1992). En deçà de la valeur seuil du C % du sol (C > 0,5 % sur sols sableux et 1,5 % sur sols argileux), la dégradation des propriétés des sols peut être importante (érosion en nappe, faible capacité de stockage en eau et nutriments) et la durabilité de la productivité végétale non assurée.

2. NDF = *Neutral detergent fiber* ; CC = *cellular content*.

Nutrition azotée des plantes

L'engrais azoté seul ne peut pallier la baisse des réserves azotées : la fumure organique doit lui être associée. En effet, dans les conditions agroécologiques de sols sableux tropicaux (la majorité des sols de l'Afrique de l'Ouest), l'effet de l'engrais azoté sur le rendement est important. Par exemple, sur mil, en station, la productivité moyenne de l'unité de N est de 17 pour une dose optimale moyenne de 110 N. Mais paradoxalement, le coefficient réel d'utilisation de N engrais (CRU) est faible, de l'ordre de 20 à 25 %. En fait, on assiste à une double action : l'engrais N favorise l'utilisation de N provenant de la minéralisation de la MO et la réorganisation de N engrais dans le sol est importante. La raison de ce paradoxe réside dans un « turnover » rapide de la MO. On observe une synergie d'action entre l'engrais N et le compost au bout de plusieurs années. Contrairement à la paille fraîche, la paille compostée enfouie augmente le *pool d'azote mobilisable* (GANRY, 1990). Ces résultats nous conduisent à affirmer que la fourniture de N (comme de P et de K) à la plante est tributaire de l'entretien organique du sol.

Fixation biologique de N₂ (FBN) par les légumineuses

Personne ne met en doute les effets bénéfiques des amendements organiques. Mais il est un mécanisme impliqué dans cette amélioration qui est souvent ignoré : c'est la stimulation de la FBN des légumineuses à graines (arachide et soja, par exemple) par les apports de fumier et de compost. Cette stimulation est d'autant plus élevée que la pluviosité est faible. La raison de cette stimulation réside dans le fait que le stress hydrique chez une légumineuse est le premier facteur limitant de sa FBN. L'accroissement de la FBN peut être spectaculaire. Sur une arachide cultivée au nord du Sénégal, les parties aériennes contiennent respectivement 11 et 63 kg N-fixé ha⁻¹ an⁻¹ sans et avec apport de fumier après 11 ans de culture (DOMMERGUES et GANRY, 1991).

Suppression des effets phytotoxiques : allélopathie et faim d'azote

La phytotoxicité se manifeste en début de culture par une inhibition de la levée des jeunes plantules. Elle est due à la présence dans le sol d'acides phénols qui apparaissent dans deux situations : après enfouissement des pailles et après certaines cultures. Dans la première situation, il importe de distinguer l'effet dépressif dû à une carence en N (« faim d'azote ») et l'effet dépressif dû à la phytotoxicité liée à la libération d'acides phénols qui est effective durant les 20 jours qui suivent l'amorce de la décomposition et disparaît par la suite (allélopathie) (GANRY *et al.*, 1978). Dans la seconde situation, la présence d'acides phénols dans le sol est due à la culture précédente, telle le sorgho. Le compostage des pailles dans la première situation et l'apport de fumier dans la seconde permettent de lever ces facteurs limitants. Les causes de l'effet phytotoxique

sont d'ordre édaphique (% argiles, activité biologique) et culturelles (effet du précédent cultural). La sécheresse selon sa nature va entraîner une baisse de l'activité biologique (faible humidité sur un temps assez long) ou une stimulation de celle-ci (alternances humectation-dessiccation rapprochées) et par voie de conséquence, favoriser ou réduire la phytotoxicité, mais en tout état de cause, le compostage des pailles, directement (compost) ou *via* l'animal (fumier), est une assurance contre le risque de phytotoxicité (BURGOS *et al.*, 1980).

Capacité d'échange cationique des sols (CEC) et agent de chélation

Des travaux portant sur un ensemble de sols de l'Afrique de l'Ouest ont clairement montré que la teneur en MO du sol gouverne la CEC et que les amendements organiques compostés (dont le fumier) contribuent au maintien de la CEC du sol. Le degré d'humification des amendements organiques est donc un déterminant primordial de la CEC d'autant plus important que le sol est sableux et que la biodégradation est active (DE BOISSESON, 1988 ; GODEFROY, 1974).

La fumure organique des sols réduit la lixiviation de l'azote. Quatre raisons expliquent cet effet : (1) l'enracinement accru ; (2) une inhibition des activités uréasiques et nitrifiantes par les produits de décomposition de la lignine, notamment les quinones (FLAIG *et al.*, 1976), favorable à un étalement de la fourniture d'azote à la plante (au Sénégal, ceci a été montré de façon très nette dans des essais au champ avec un engrais organique, la N-lignine) ; (3) une adsorption plus grande de l'ammonium qui réduit le risque de volatilisation de cet élément ; (4) un retard dans la saturation de l'horizon de surface (ROOSE, 1994).

Un autre rôle de la MO est de favoriser l'absorption du fer par les plantes. La MOS joue un rôle important en favorisant la solubilisation du fer (suite à un dégagement de CO_2 = bicarbonate ferreux) et sa chélation. La plante peut alors absorber le fer sous forme ferreuse ou de chélate. Dans les sols sableux au Sénégal à faible pouvoir tampon, on attribue un rôle de chélation au fumier pour expliquer son action favorable dans la lutte contre la chlorose ferrique induite par l'irrigation (BLONDEL, 1970).

Valeur nutritionnelle des récoltes

L'engrais N augmente généralement le taux de protide des grains de céréale. Des travaux conduits au Sénégal sur le mil ont confirmé ce résultat, montrant par ailleurs que l'apport de compost en présence d'engrais N augmente ce taux de protides de + 5 à + 8 %. Mais surtout l'intérêt de ces travaux est d'avoir montré que le compost en présence d'une dose moyenne d'engrais N (50 à 100 N) accroît le taux de lysine, l'acide aminé indispensable à l'homme. Le compost stimule la fourniture de N-NO_3^- , la prolonge et favorise ainsi la formation de protéines (SIBAND et GANRY, 1976).

Structuration du sol, lutte antiérosive et développement racinaire

La MOS augmente la stabilité des agrégats et la porosité du sol favorisant ainsi : (1) l'infiltration, ce qui permet de lutter contre le ruissellement et l'érosion, (2) l'enracinement (action physique) (ROOSE, 1994). Un autre effet de la MO sur le développement racinaire est de nature biochimique, par une double action : d'une part, de libération de facteurs de croissance, et d'autre part, d'augmentation de l'absorption et de la perméabilité cellulaire (FLAIG *et al.*, 1976).

Résistance à la sécheresse des plantes

La matière organique apportée au sol favorise la résistance à la sécheresse des plantes en agissant à trois niveaux : (1) la capacité d'infiltration du sol, (2) la rétention de l'eau dans le sol, (3) l'absorption de substances actives. En ce qui concerne *la rétention de l'eau*, plus les MO sont humifiées, plus elles retiennent l'eau ; à titre d'exemple, la paille retient 250 à 260 kg d'eau/100 kg de MS et le fumier, 800-850 kg/100 kg de MS. En ce qui concerne *l'absorption de substances actives*, FLAIG *et al.* (1976) montrent clairement une influence physiologique des substances actives issues de la MO et de l'humus (notamment phénols et quinones) d'autant plus importante que les conditions environnementales (humidité en premier) du milieu-sol s'écartent de leur optimum.

Amélioration de la résistance des plantes aux maladies

Tous les facteurs de stress environnementaux accentuent les déséquilibres naturels et, en accélérant l'épuisement des réserves des plantes, augmentent la précocité des attaques. DAVET (1996) décrit bien ce phénomène en montrant que le stress hydrique engendre souvent des maladies ; par exemple, le sorgho est envahi par *Macrophina phaseolina* et ce d'autant plus que la température est élevée. On voit toute l'importance d'une fumure organique des sols qui accroît la résistance à la sécheresse de la plante, et donc renforce sa résistance à ces maladies provoquées précisément par la sécheresse. La fumure organique améliore l'état sanitaire des racines et d'une façon générale, accroît la résistance aux maladies. Plusieurs raisons expliquent cet effet des MO : l'augmentation de la teneur en substances phénoliques dans la plante (FLAIG *et al.*, 1976), la régulation de l'azote disponible, la stimulation de la microflore antagoniste et la libération de composés inhibiteurs (DAVET, 1996).

Les conditions d'une gestion organique des sols par le fumier

En zone semi-aride soudano-sahélienne, la présence simultanée d'un cheptel important et de quantités considérables de résidus de cultures représente un



a : contrat de fumure entre éleveurs (Peulhs) et agriculteurs (Mossi), Burkina Faso.

© IRD/É. Roose

b : parc mobile sur champs en voie de restauration, Mali Sud.

© IRD/É. Roose

c : étable au Rwanda.

© IRD/É. Roose

énorme potentiel de MO. Une gestion organique appropriée des sols par le fumier est donc possible, mais elle nécessite : (1) de faire un diagnostic de toutes les formes de fumier, (2) de disposer des outils pour leur caractérisation ou au minimum connaître les bons indicateurs, (3) de pouvoir appliquer les techniques d'amélioration de la qualité du fumier, (4) des moyens de transport et d'application au sol du fumier.

Diagnostic des principaux types de fumiers

Dans la zone sahélo-soudanienne nous distinguons en gros trois types de fumier qui sont fonction du mode de gestion du troupeau.

Poudrette ou fumier de parc traditionnel (sans litière)

En zone soudano-sahélienne, le fumier de parcage, appelé poudrette, est composé principalement des fèces mélangées au sol par le piétinement du bétail. Une partie des urines est perdue par volatilisation au soleil, lessivage par les pluies et minéralisation microbienne en absence de paille. La technique de fumure organique par parcage au champ est traditionnellement appliquée pendant la saison sèche pour la fertilisation des champs de céréales. L'intérêt de cette technique tient au fait que les transferts de fertilité du sol sont assurés par les animaux à travers les déjections (fèces et urines) durant les temps de séjour qui sont couramment de 14 heures sur 24 heures. Le poids de fèces déposé est de l'ordre de 600 kg de MS de fèces par UBT et par an (SONKO, 1986). Pour établir ces valeurs, l'auteur retient la norme moyenne suivante : l'UBT (unité de bétail tropical, d'un poids standard de 250 kg vifs) qui ingère environ 2 300 kg de fourrage MS par an (soit 6,25 kg/jour) excrète environ 1 000 kg de MS par an. Ces quantités de fèces excrétées varient avec la saison. Les 1 300 kg restant assurent le bilan énergétique (émission de CO_2 et NH_4), la dynamique des constituants de la carcasse et des muscles, la production de lait. Ce système a longtemps permis de valoriser les déjections animales des troupeaux transhumants par le biais des « contrats de fumure » traditionnels passés entre les agriculteurs sédentaires et les pasteurs venus pour la saison sèche. Au Niger, l'Icrisat a montré que ce système permet d'obtenir des rendements en mil de l'ordre de 700 à 800 kg/ha ; le bilan minéral net « sol-plante » est alors positif pour N, mais déficitaire pour P (BROUWER et BOUMA, 1997).

En zone plus humide, en zone cotonnière notamment, la terre de parc est utilisée comme fertilisant. C'est le cas en culture attelée au Sud-Tchad, où la terre de parc produite par une dizaine d'UBT peut fertiliser une surface de 4 ha à raison de 3 t $\text{ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ apportant ainsi : 30 N, 20 P_2O_5 et 48 K_2O (RICHARD et DJOULET, 1985).

Le fumier de parc avec litière

La qualité des fumiers de parc est largement accrue par l'adjonction de paille en couches successives en saison sèche, suivie d'une fermentation en saison des pluies (LANDAIS *et al.*, 1991). La rétention des urines par le substrat organique



a : parc de protection des chèvres sans litière, Mali sud.

© IRD/É. Roose

b : compostière villageoise où sont collectés les fèces des animaux en liberté et les déchets ménagers, Burkina Faso.

© IRD/É. Roose

réduit les risques de volatilisation de l'azote de l'urine qui sont élevés en sols sableux, notamment lors d'un apport d'urée (GANRY, 1990).

Ce système de parage des bovins est surtout développé dans les zones cotonnières, appelé « parcs d'hivernage » au Burkina ou « stabulation saisonnière » au Mali. Au Mali-Sud, on a montré que la stabulation saisonnière a un double avantage : elle augmente la production de fumier et elle diminue temporairement la charge des parcours, permettant ainsi une charge supérieure en saison des pluies ; avec ce type de conduite du troupeau, les pourcentages moyens de terres cultivées (40 %) et de terres en jachère (13 %), et la charge animale moyenne (50 UBT/km²) restent sensiblement les mêmes, mais le solde du bilan fourrager est supérieur (BOSMA *et al.*, 1993). Par contre, poudrettes et fumier de parc sont chargés en sable et de mauvaise qualité fertilisante et sanitaire (HAMON, 1972).

Le fumier d'étable composté

Le principe de l'étable fumière est l'utilisation continue des déchets végétaux, des déjections et du piétinement des animaux pour transformer et enrichir des résidus de culture apportés en litière. L'étable fumière est située en général près des bâtiments de l'exploitation. Elle concerne uniquement le bétail en stabulation permanente ou semi-permanente : bétail de trait, à l'embouche, laitier ou en bas-âge (BERGER, 1996).

À titre d'exemple, nous prendrons deux types de fumiers de bovins produits en étable, selon les matières végétales apportées (tabl. 1) :

- fumier 1 : pailles de mil et de sorgho et résidus de battage, produits chez un agriculteur ;
- fumier 2 : foin de jachère, produit en stabulation entravée et mis en tas.

La valeur fertilisante de ces fumiers est comparée aux moyennes des poudrettes et des fumiers avec litière en Afrique soudano-sahélienne (ROOSE *et al.*, 2010).

Tableau 1

*Composition minérale de deux fumiers compostés (non contaminés par la terre), produits en stabulation et qui diffèrent selon la composition de la litière. Comparaison avec les valeurs médianes observées en zone soudano-sahélienne de poudrette pauvre et de fumier avec litière sur parc (ROOSE *et al.*, 2010).*

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	----- %MS -----				
Fumier 1	2,5	0,53	1,76	2,60	1,35
Fumier 2	2,0	1,28	2,42	4,90	1,82
Poudrette Pauvre	1,2	0,6	0,6	0,9	0,6
Fumier avec litière	2,0	0,8	1,8	2,4	1,3

Le fumier de foin de jachère est plus riche en P et Ca, mais plus pauvre en N ; inversement, le fumier de paille de mil et sorgho est plus riche en N (augmentation de l'accumulation de N_2 sous l'action des pailles), mais plus pauvre en P et K. On peut expliquer ce dernier résultat par la richesse initiale en P, K et Ca du foin (effet améliorant de la jachère qui a fourni le foin), supérieure à celle des pailles de mil et sorgho, lesquelles pailles sont produites en milieu paysan, donc vraisemblablement sans fertilisation minérale. Les valeurs médianes observées sur des fumiers sur parc sont généralement plus faibles que les fumiers compostés, mais il faudrait comparer les volumes de fumier produits et le coût des opérations de compostage et de transport pour fournir des arguments convainquant les paysans.

Caractérisation de la qualité des fumiers

La caractérisation de la qualité du fumier repose sur l'analyse chimique d'échantillons. À défaut d'analyses (souvent difficiles à réaliser dans les régions concernées), on peut recourir à une estimation de la qualité du fumier sur la base d'indicateurs. La procédure d'échantillonnage en vue de l'analyse chimique doit être rigoureuse en raison de l'hétérogénéité du fumier.

Analyse chimique

– **Humidité** : exprimer l'humidité par rapport au poids frais ou à la matière sèche, mais le préciser.

– **Valeur fertilisante** : analyser au minimum N, P et K totaux et exprimer les résultats en unité fertilisantes N, P_2O_5 et K_2O , par rapport au poids MS totale ; évaluer les cations et leur capacité à remonter le pH du sol.

– **Valeur amendante organique** : analyser le C total et le C des matières humiques totales (MHT) (BROSSARD *et al.*, 1981) pour déterminer le C/N et évaluer le degré d'humification. Si possible, évaluer le coefficient isohumique k_1 (HÉNIN et DUPUIS, 1945), ou à défaut puisque la mesure de k_1 requiert des expérimentations longues et coûteuses, analyser les fractions organiques pour calculer un indice de stabilité de la matière organique, l'Ismo (LASHERMES *et al.*, 2009) rapidement accessible et normalisé (Afnor, 2009) (THURIÈS et HOUOT, 2010). Ces indices rendent compte de l'aptitude des fertilisants organiques à induire une « surminéralisation » de la MO du sol (phénomène à éviter) ou inversement, à apporter des précurseurs de substances humiques (phénomène à favoriser).

– **Pourcentage de terre** : on peut analyser le pourcentage de terre dans le fumier de la façon suivante : partant de la teneur en cendres insolubles (SiO_2), en sachant que les pailles contiennent environ 7 % de SiO_2 et une déjection de bovin d'environ 6 %, on peut estimer le pourcentage d'apport de terre dans le fumier et éventuellement expliquer par là les faibles teneurs en éléments fertilisants dans les fumiers traditionnels. Si la teneur en silice d'un fumier est de S %, le % de terre estimé, dans ce fumier, sera de S-7 pour un fumier pailleux et S-6 pour un fumier faiblement pailleux.

Indicateurs de valeur fertilisante et de production du fumier

– **Valeur fertilisante** (HAMON, 1972). Prenons le cas d'un fumier frais (45 % MS) produit en stabulation en saison des pluies, avec apport hebdomadaire de paille, fumier incluant 35 % de terre humifère (la terre humifère correspond, dans la fosse fumière ou dans la stabulation, à la dernière couche de fumier en contact avec le sol). 5 t/ha tous les 2 ans (dose réaliste en zone soudano-sahélienne) apporte environ : 30 kg N, 10 kg de P_2O_5 , 35 kg de K_2O . Comparativement, la fumure minérale faible « Mil » vulgarisée (150 kg/ha/an d'engrais ternaire 14-7-7) apporte chaque année : 21 N, 10 P_2O_5 et 10 K_2O . Sur des fumiers du Burkina, BERGER (1996) trouve des valeurs médianes sensiblement égales : 23 N, 8 P_2O_5 et 34 K_2O . Pour évaluer le taux de satisfaction des besoins en N, P et K d'une culture, voici à titre d'exemple l'exportation minérale d'un mil « variété locale » au Mali, exprimée par hectare et par tonne de produit récolté : 30 kg N, 10 kg P_2O_5 et 56 kg K_2O dont respectivement 18, 7 et 6 exportés par les grains (PIERI, 1992).

– **Coefficient de transformation paille → fumier**. Partant de la relation linéaire : $Fumier\ MS = k\ Paille\ MS$, et sur la base des travaux de HAMON (1972) au Sénégal et de BERGER (1996) au Burkina, nous établissons un intervalle de grandeur pour k : $1,5 < k < 1,7$, ce qui signifie que 100 kg MS de pailles ajoutées aux déjections contribuent à produire entre 150 et 170 kg MS de fumier.

– **Rendement (R) en fumier par UBT** : R exprimé en t MS fumier UBT⁻¹

Stabulation : R = 0,65 (HAMON, 1972) ; R = 0,50 (FERNANDEZ-RIVIERA, 1995)

Parcs d'hivernage : R = 1,20 (BERGER, 1996). Ceci signifie que 1 vache produit en stabulation 650 kg MS de fumier et dans un parc d'hivernage, 1 200 kg MS de fumier.

Amélioration de la qualité agronomique du fumier

L'amélioration de la qualité agronomique du fumier repose sur cinq types d'action : (1) constituer une litière sous les animaux riches en matière végétale cellulosique (paille notamment) et si possible riches en lignine, comme par exemple les ramilles de haies ; (2) créer les conditions pour le compostage (notamment l'apport d'eau) qui a deux fonctions importantes : (a) éliminer les pathogènes (fermentation → phase exothermique → effet létal sur graines adventices et les germes pathogènes, comme par exemple les oospores et zoospores de *Sclerospora* chez le mil), (b) induire une réorganisation de N minéral suite à l'apport de paille, qui enrichit le fumier en N ; (3) enrichir le fumier en P par l'incorporation de phosphates naturels pulvérisés (transformation active du P et Ca minéral du phosphate tricalcique en formes assimilables) ; (4) apporter des ferments humigènes, en l'espèce une couche de fumier naturel déjà composté pour accélérer le départ de la fermentation et fournir à ces ferments de l'engrais azoté, ou à défaut d'engrais, une matière végétale de légumineuse herbacée (paille) ou arbustive (feuilles et ramilles vertes) ; (5) recycler les purins ou effluents dans le fumier. Les actions (1) et (2) sont obligatoires ; les (3), (4) et (5) sont recommandées.

Optimisation du mode d'apport du fumier

L'optimisation du mode d'apport du fumier se situe à deux niveaux : comment apporter le fumier au sol (enfoui par labour, en surface), et à quel moment l'apporter dans la rotation appliquée au système de culture.

Enfoui, en surface, en poquet ou sur billons ?

Des études menées en Afrique, notamment au Nigeria, ont montré que l'aération liée au labour du sol induit une accélération de la minéralisation de la MO (LAL, 1997). Mais en dehors de certaines pratiques telles que le *radou baligne* dans le Sine Saloum au Sénégal sur arachide (apport localisé du fumier sur la ligne de semis, enfoui grâce à un sarclo-buttage de pré-levé) (SÈNE, 1995), l'enfouissement dans la majorité des cas se fait par labour.

La MO laissée en surface présente avantages et inconvénients en fonction de la zone écologique : sur sol en pente (même $< 1\%$), elle réduit les risques d'érosion du sol et augmente le stockage du carbone dans l'horizon superficiel du fait de l'absence de labour, mais, apportée en surface, elle favorise un enracinement superficiel qui accroît le risque de stress hydrique de la plante en cas de sécheresse (GANRY et GUIRAUD, 1979), ce qui fait dire parfois aux paysans que « le fumier brûle l'arachide ». L'apport du fumier en poquet est surtout réalisé dans la technique du zaï (au Burkina) ou massa (Niger), technique traditionnelle de réhabilitation des terres dans la zone soudano-sahélienne (ROOSE, 1994).

À quel moment ou sur quelle culture apporter le fumier ?

Prenons l'exemple de la rotation cotonnier-sorgho fondée sur l'intégration « élevage-agriculture » au Sud-Mali. Les sociétés de développement recommandent d'apporter l'urée et le fumier sur le cotonnier. La recherche a montré que l'apport d'urée sur le sorgho au lieu du cotonnier engendrait un accroissement du rendement en grain du sorgho ($1,9$ vs $1,3 \text{ t ha}^{-1}$), un maintien du rendement en coton, un équilibre du bilan N, et ce grâce à l'apport plus important de pailles, donc de fumier de $+ 2,5 \text{ t MS ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. Le système optimisé crée donc les conditions du maintien de la fertilité azotée du sol, mais à condition que l'approvisionnement en fourrage soit suffisant. Ce fourrage provient traditionnellement des pâturages naturels, mais de plus en plus l'agriculteur doit recourir au développement de la *jachère améliorée* et son exploitation sélective par pâture (SANOGO, 1997) et à la plantation de légumineuses arbustives : là réside la clef de l'intensification.

Fumier et systèmes de culture sur couverture Végétale (SCV)

Au cœur de l'agriculture « durable », les SCV connaissent, en Afrique de l'Ouest et du Centre, des formes et des succès variables selon les contextes biophysiques et socio-économiques. Ce sont principalement les sociétés cotonnières qui font la promotion de cette innovation agroécologique pour la conduite de la rotation céréale/coton (DUGUÉ *et al.*, 2012).

Pourquoi les SCV dans des zones d'élevage productrices de fumier ?

La zone soudano-sahélienne se caractérise par la juxtaposition des activités agricoles et pastorales sur les mêmes territoires. Cette cohabitation se traduit par une concurrence pour l'utilisation des ressources agropastorales (foncier agricole et pastoral, herbes de brousses, résidus de cultures, fumure animale, etc.) plutôt que par une gestion concertée de ces ressources (DONGMO, 2009). Cet auteur distingue trois groupes d'unités de production en fonction du rapport « UBT disponibles/ha cultivés » : les éleveurs dont le rapport se situe entre 10 et 34, les agriculteurs dont le rapport est inférieur à 1, les agriculteurs détenteurs de bovins ou de petits ruminants, dont le rapport est faible (1 à 10). Chez les agriculteurs, contrairement aux éleveurs, la baisse de fertilité des sols est devenue préoccupante. Elle est liée à la très faible restitution de la matière organique (notamment par le parcage des animaux), d'où le choix des sociétés cotonnières de développer les SCV dans le groupe des agriculteurs. Mais cela entraîne une interdiction de la vaine pâture sur les parcelles concernées afin de protéger la couverture permanente du sol, interdiction qui pose problème du fait que la diffusion des SCV à l'échelle du terroir ne doit pas se faire en excluant l'élevage, mais en recherchant son intégration (DONGMO, 2009).

Pour résoudre cette difficulté, les projets actuels travaillent à l'accroissement de production de biomasses fourragères dans certaines parties des terroirs afin de compenser le manque à gagner pour le bétail lié à l'interdiction de la vaine pâture sur les parties dédiées aux SCV (DUGUÉ *et al.*, 2012). Notons enfin les autres difficultés liées aux SCV, généralement peu abordées, à savoir : les feux de brousse, l'utilisation d'herbicides pour tuer la couverture vivante, l'impossibilité d'enfouir du fumier, le risque d'allélopathie avec une couverture de paille de sorgho et le manque de paille pour nourrir le bétail (priorité) et couvrir suffisamment le sol nécessitant alors un transport de paille.

Conclusions

Améliorer la production du fumier en quantité et en qualité pour maintenir ou restaurer la productivité des terres est un objectif prioritaire de l'agriculture durable qui ne peut être atteint que sous certaines conditions. La Recherche-Développement dispose d'un certain nombre d'outils capables d'atteindre cet objectif. C'est en se fondant sur cette idée que nous souhaiterions faire passer les cinq messages suivants.

(1) Promouvoir la production du fumier en zone semi-aride d'Afrique nécessite une augmentation de la production de biomasse fourragère tropicale.

(2) Par effet de synergie avec l'engrais minéral et par effet de transfert de fertilité opéré par les animaux, le fumier « économise » l'engrais minéral mais excepté dans de rares cas, il ne peut être considéré comme un substitut à l'engrais minéral ; un de ces cas est le fumier enrichi en phosphate naturel produit dans le cadre d'un système de culture avec une légumineuse dont les pailles sont recyclées *via* l'animal à travers le fumier.

(3) En zone semi-aride, le fumier composté, apporté régulièrement et incorporé au sol, réduit le risque de manque d'eau des cultures. Malheureusement, en situation de sécheresse récurrente, les systèmes entrent dans une spirale « infernale » : la sécheresse entraîne la baisse des ressources en biomasse végétale qui entraîne la baisse des apports organiques au sol qui entraîne la baisse de la fertilité des sols, et cette dernière entraîne une baisse des ressources organiques. Pour rompre cette spirale, il faut développer d'une part, une gestion intégrée fondée sur l'élevage, l'agroforesterie (les haies, les jachères courtes de légumineuses, les parcs arborés), l'aménagement des parcelles (les cordons pierreux), le phosphatage des fumiers ou des terres, et d'autre part, développer la valorisation agricole de tous les déchets ou sous-produits organiques qui s'accumulent à proximité des zones cultivées (déchets ménagers, urbains et industriels).

(4) Le compostage, grâce à sa phase exothermique, détruit les graines d'adventices et les germes pathogènes ; il conduit de ce fait au même résultat d'assainissement que le brûlage des pailles, mais en conservant une partie des résidus de culture : l'agriculteur est donc doublement gagnant, mais il augmente beaucoup son travail.

(5) Le fumier améliore les récoltes en quantité (rendement), mais aussi en qualité (valeur nutritionnelle). L'amélioration du taux de lysine est un résultat essentiel.

Dans un contexte écologique et sociologique où sécheresse et malnutrition menacent le Sahel, on voit toute l'importance prise par une intensification de la production de fumier et par son utilisation rationnelle.

Bibliographie

- AFNOR, 2009** – *XP U 44-162 - Amendements organiques et supports de culture - Caractérisation de la matière organique par fractionnement biochimique et estimation de sa stabilité biologique - Soil improvers and growing media - Characterization of organic matter by biochemical fractioning and estimation of its biological stability*. Saint Denis la Plaine, Afnor (éd.), 19 p.
- BERGER M., BELEM P.C., DAKOUO D., HIEN V., 1987** – Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina-Faso et la nécessité de l'association agriculture-élevage. *Cot. Fibr. Trop.*, 42, 201-207.
- BERGER M., 1996** – L'utilisation de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne. *Agriculture et Développement*, N° hors série, 52 p.
- BLONDEL D., 1970** – Induction d'une chlorose ferrique en sol sableux (dior) par des eaux d'irrigation calcomagnésiennes. *Agron. Trop.*, 25 : 555-560.
- BOSMA R., BENGALI M., DEFOER T., 1993** – « Pour un système durable de production : augmenter le bétail. Rôle des ruminants au Mali-Sud, dans le maintien du taux de matière organique des sols ». In : *Élevage et cycle viable des éléments nutritifs dans les systèmes mixtes agriculture-élevage de l'Afrique subsaharienne*, conférence internationale Cipea/Ilca, 22-26 nov. 1993, Addis Abeba, Éthiopie, 12 p.
- BROSSARD M., BALESSENT J., FELLER C., PLENECASSAGNE A., TURENNE J. F., 1981** – Étude de la matière organique des sols par fractionnement granulométrique. Décomposition au champ d'un compost enfoui dans plusieurs types de sols des Antilles. *Proceedings of the Caribbea Food Crops Society*, 20 : 68-73.
- BROUWER M., BOUMA J., 1997** – La variabilité du sol et de la croissance des cultures au Sahel : points saillants de la recherche (1990-1995) au centre sahélien de l'Icrisat. *Bull. d'information*, 49 : 21-26, Patencheru, Inde ; Wageningen, Pays-Bas, Icrisat et Landbouwniversiteit (éd.).
- BURGOS L.-W., GANRY F., NICOU R., CHOPART J.-L., DOMMERGES Y., 1980** – Un cas de fatigue des sols induite par la culture du sorgho. *Agron. Trop.*, 25 : 319-334.
- CISSÉ L., VACHAUD G., 1987** – Une méthode simplifiée d'estimation *in situ* de l'extraction de l'eau par les racines. *Agron. Trop.*, 42 : 241-247.
- DAVET P., 1996** – *Vie microbienne du sol et production végétale*. Paris, Inra Éditions, 382 p.
- DE BOISSESON P., 1988** – Effet de l'enfouissement de pailles de luzerne sur la capacité d'échange d'un sol brun sur limon des plateaux. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 24 (4) : 337-339.
- DE ROUW A., 1998** – Fumure animale, matière organique et encroûtement superficiel du sol dans les systèmes de culture de mil, étude au Niger. *Agriculture et Développement*, 18 : 63-73.
- DOMMERGES Y., GANRY F., 1991** – Valorisation de la fixation de N₂ à la ferme. *Savanes d'Afrique, terres fertiles*, Montpellier, Cirad (éd.) : 332-346.
- DONGMO A. L., 2009** – *Territoires, troupeaux et biomasses : enjeux de gestion pour un usage durable des ressources au Nord-Cameroun*. Thèse doct., Agro-Paristech, 237 p.
- DUGUÉ P., AUTFRAY P., BLANCHARD M., DJAMEN P., DONGMO A. L., GIRARD P., OLINA J. P., SISSOKO F., VALL E., 2012** – « L'agroécologie pour l'agriculture familiale dans les pays du Sud : impasse ou voie d'avenir ? Le cas des zones de savane cotonnière de l'Afrique de l'Ouest et du Centre ». Colloque René Dumont revisité et les politiques agricoles africaines, 15 et 16 novembre 2012, Nogent-sur-Marne, France, 23 p.
- FELLER C., 1995** – La matière organique du sol, un indicateur de la fertilité : application aux zones sahéliennes et soudaniennes. *Agriculture et Développement*, 8 : 35-41.
- FERNANDEZ-RIVIERA S., WILLIAMS T. O., HIERNAX P., POWELL J. M., 1995** – « Faecal excretion by ruminants and manure availability for crop production in semi-arid West Africa ». In Powell J. M., Fernandez-Rivera S., Williams T. O., Renard C. (eds) : *Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa* : 149-170, volume II : Technical Papers, Proceedings International Conference, 22-26 Novembre 1993, IICA, Addis-Abeba, Éthiopie.

- FLAIG W., NAGAR B. R., SÖCHTIG H., TIETJEN C., 1976** – Soil organic matter and soil productivity. *Soils Bulletin*, Rome, FAO, 200 p.
- GANNY F., 1990** – *Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche*. Thèse doct., univ. de Nancy I, 355 p.
- GANNY F., ROGER P. A., DOMMERGUES Y., 1978** – À propos de l'enfouissement des pailles dans les sols sableux tropicaux. *C. R. Acad. Agri. Fr.*, 6 : 445-454.
- GANNY F., GUIRAUD G., 1979** – « Mode d'application du fumier et bilan azoté dans un système mil-sol sableux au Sénégal. Étude au moyen de ^{15}N ». In International Atomic Energy Agency (ed.) : *Isotopes and Radiation in research on soil-plant relationship*. AIEA-SM. 235/16, Vienna : 313-331.
- GANNY F., SANOGO J.-L., GIGOU J., OLIVER R., 2000** – « Intensification du système cotonnier-sorgho au Mali-Sud fondée sur le fumier et la gestion optimale de la fertilisation ». In Floret C., Pontanier G. (éd.) : *La Jachère en Afrique tropicale, rôle, aménagement, alternatives*, Paris, John Libbey Eurotext : 142-148.
- GANNY F., FELLER C., HARMAND J.-M., GUIBERT H., 2001** – The management of soil organic matter in semi-arid Africa for annual cropping systems. *Nutrient Cycling In Agroecosystem*, 61 (1-2) : 103-118.
- GANNY F., BARTHÈS B., GIGOU J., 2011** – « Les défis du maintien de la fertilité des sols tropicaux : cas de l'Afrique de l'Ouest ». In Girard M. C. (éd.) : *Environnement et sols*, Paris, Dunod, 816 p.
- GODEFROY J., 1974** – *Évolution de la matière organique du sol sous culture du bananier et de l'ananas. Relations avec la structure et la capacité d'échange cationique*. Thèse doct. Ing. Ensam Montpellier, France, 207 p. + annexes.
- HAMON R., 1972** – L'habitat des animaux et la production d'un fumier de qualité en zone tropicale sèche. *Agron. Trop.*, 27 : 592-607.
- HÉNIN S., DUPUIS M., 1945** – Essai de bilan de la matière organique du sol. *Agron. Trop.*, 1 : 16-27.
- HIERNAX P., FERNANDEZ-RIVERA S., DE SCHLECHTE E., TURNER M. D., WILLIAMS T. O., 1997** – « Livestock-mediated nutrient transfers in Sahelian agro-ecosystems ». In Renard G., Neef A., Becker K., von Oppen M. (eds) : *Soil Fertility Management in West African Land Use Systems*, Margraf Verlag, Weikersheim, Germany : 339-347.
- LAL R., 1997** – Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in western Nigeria crop yield and soil physical properties. *Soil & Tillage Research*, 42 (3) : 145-160.
- LANDAIS E., LHOSTE E., GUERIN H., 1991** – « Systèmes d'élevage et transferts de fertilité ». In Pieri C. (éd.) : *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?*, Montpellier, Cirad et Mini. Coop : 219-220.
- LASHERMES G., NICOLARDOT B., PARNAUDEAU V., THURIÈS L., CHAUSSOD R., GUILLOTIN M. L., LINÈRES M., MARY B., METZGER L., MORVAN T., TRICAUD A., VILLETTE C., HOUOT S., 2009** – Indicator of potential residual carbon in soils after exogenous organic matter application. *European Journal of Soil Science*, 60 : 297-310.
- LHOSTE P., 1986** – L'association agriculture-élevage. Évolution du système agropastoral au Siné-Saloum (Sénégal). *Collection Études et Synthèses de l'IEMVT 21*, IEMVT-Cirad, 314 p.
- LY C., DIAW A., FAYE A., 1997** – Étables fumières et production laitière au Sénégal. *Cahiers Agricultures*, 6 : 651-659.
- PIERI C., 1992** – *Fertility of Soils. A future for farming in the West African Savannah*. Berlin, Springer-Verlag, 348 p.
- RICHARD L., DJOULET D., 1985** – La fertilité des sols et son évolution. Zone cotonnière du Tchad. *Coton et Fibres Tropicales, série Document, Études et Synthèse*, 6, 21 p.
- ROOSE É., 1994** – Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique de la FAO*, Rome, 70, 420 p.
- ROOSE É., SABIR M., LAOUINA A., 2010** – « Les transferts de nutriments par le fumier et le parage ». In : *Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc*, Marseille, IRD Éditions : 267-275.
- SANOGO J.-L., 1997** – *Maîtrise de l'azote dans un système cotonnier-sorgho : prévision de la fumure organique et azotée en zone Mali-Sud*. Thèse doct., Ensam, Montpellier, 72 p. + ann.
- SÈNE M., 1995** – *Influence de l'état hydrique et du comportement mécanique du sol sur l'implantation et la fructification de l'arachide*. Thèse doct., Ensam, Montpellier, 127 p.

SIBAND P., GANRY F., 1976 – « Application de l'analyse d'extraits de tissus conducteurs à l'étude de l'effet d'un compost sur une culture de mil ». Proc. of 4th International Colloquium on the control of plant nutrition, Gent (Belgique), Belgique, Rijksuniversiteit (ed.), vol. 1.

SONKO M. L., 1986 – « Méthodologie de l'étude des pratiques traditionnelles de fumure animale. L'exemple de la démarche adoptée par l'Isra en Basse Casamance ». In Landais E., Faye J. (éd.) : *Méthodes pour la recherche sur les systèmes d'élevage en Afrique intertropicale*, actes de l'atelier ISM de Mbour, Sénégal, 2-8 février 1986,

Maisons-Alfort, IEMVT-Cirad : 413-428 (Études et synthèses de l'IEMVT, 20).

THURIÈS L., PANSU M., LARRÉ-LARROUY M., FELLER C., 2002 – Biochemical composition and mineralization kinetics of organic inputs in a sandy soil. *Soil biology and biochemistry*, 34 (2) : 239-250.

THURIÈS L., HOUOT S., 2010 – Indicateurs d'état et de prévision de la dynamique de transformation des apports organiques. In : <http://uved-matorg.cirad.fr> Module de formation, cours No 5, université virtuelle Environnement et Développement durable (Uved), Rennes.